

FORMULACION Y VERIFICACION DE PREDICCIONES PROBABILISTICAS. ANALISIS DEL SISTEMA DE ALERTAS METEOROLOGICAS. SERVICIO DE PREDICCION DE "RISSAGUES" Y CAMPAÑA "PREVIMENT MEDITERRANEO 87"

Agustín Jansá Clor
Centro Meteorológico Zonal de Baleares

Abstract

A quantitative formulation of probabilistic forecast for the surveillance of significant weather has been developed in the Meteorological Center at Palma of Mallorca of the Spanish National Institute of Meteorology. This system is reviewed in this paper and it is used for the objective verification of two operative campaigns named "Previment Mediterraneo 87" (on heavy rain warning) and "Rissagues 87" (on large "seiches" warning).

Resumen

Para la vigilancia de fenómenos de tiempo significativo, en el Centro Meteorológico Zonal de Palma de Mallorca del Instituto Nacional de Meteorología se ha desarrollado un sistema para la formulación cuantitativa de predicciones probabilísticas (el sistema de "alertas"). En este artículo se revisa dicho sistema y es aplicado a la verificación objetiva de dos campañas operativas, el "Previmet Mediterráneo 87" (para la vigilancia de lluvias fuertes) y "Rissagues 87" (para la vigilancia de grandes "seiches").

Introducción

El 17 de noviembre de 1986 empezó su labor operativa el Grupo de Predicción y Vigilancia (GPV) del Centro Meteorológico Zonal de Baleares, ensayo general del sistema que está implantándose en el Instituto Nacional de Meteorología de España para una organización racio-

nal y eficiente de la predicción y vigilancia meteorológicas descentralizadas. El autor fue encargado de la redacción de la metodología de trabajo por la que debería regirse ese primer GPV. Basamos el cuerpo de normas —experimentales y provisionales— en el sistema de *alertas meteorológicas*. En efecto, un objetivo que consideramos central era tratar de asegurar la correcta anticipación de los meteoros *significativos*, es decir, aquellos cuya aparición puede tener cierta trascendencia socio-económica, en cualquiera de los campos en los que debía trabajar el GPV, aeronáutico, marítimo y general o civil. Para el caso concreto de nuestro Centro, con tres importantes aeropuertos en su demarcación, más uno incluido por razones coyunturales, vigilancia marítima experimental sobre todo el Mediterráneo occidental y el territorio de las Islas como área a cubrir por la predicción general y civil, los meteoros seleccionados para ser vigilados eran la *niebla* y bajos techos, la *tormenta*, la *lluvia* fuerte, el *viento* fuerte, la *nieve* y las "rissagues".

El sistema de alertas, como se verá, posibilita la verificación objetiva de predicciones de riesgo, normalmente formuladas en lenguaje no cuantitativo.

En este trabajo hablaremos, a modo de ejemplo, de la formulación y verificación de dos grupos de alertas de las que manejamos, las de "rissaga" y las de lluvia fuerte.

Las "rissagues" son oscilaciones de nivel del mar del tipo "seiche", de gran amplitud (hasta los dos metros en algunos casos) y causa aparen-

temente meteorológica, que afectan a determinados puertos del Mediterráneo, particularmente a Ciutadella de Menorca, y que se presentan típicamente en verano. El Centro Meteorológico Zonal de las Baleares, tras una larga investigación, nunca acabada, decidió en 1984 establecer un servicio especial de predicción de tal fenómeno, facilitando avisos a la población expuesta, mediante campañas estacionales de vigilancia. En las primeras campañas los avisos estuvieron formulados en el siempre ambiguo "lenguaje claro", pero en la última (1987), previo acuerdo con los usuarios y una vez establecido el sistema de alertas, los avisos consistieron en comunicar el nivel de alerta a los interesados. La experiencia ha sido positiva y ha permitido una verificación de esta última campaña más precisa que en los años anteriores.

Durante el otoño de 1987 el Instituto Nacional de Meteorología ha realizado la campaña denominada *Previmet Mediterráneo 87*, orientada a la vigilancia de las típicas lluvias fuertes otoñales de la región mediterránea. Para tal campaña se adoptó el sistema de alertas meteorológicas implantado en nuestro Centro. Ello está permitiendo, también, una verificación y valoración objetiva del trabajo realizado.

Las alertas como predicción probabilística cuantificada. Alertas de lluvia fuerte

El *sistema de alertas* meteorológicas es una *formulación probabilística* y al mismo tiempo cuantificada de la predicción de los meteoros significativos seleccionados y un *método de trabajo* para mantenerlos bajo vigilancia. De acuerdo con sus apreciaciones subjetivas, el predictor de servicio establece sus niveles de alerta cada tres horas, quedando el trabajo organizado de acuerdo con dichos niveles. Establecer un nivel de alerta es, de hecho, formular una predicción probabilística cuantificada.

El planteamiento que va a seguir incluye ideas de los trabajos clásicos de Brier (*Brier & Allen, 1975*).

Consideremos el caso de las *lluvias fuertes*. El *predictando*, o magnitud objeto de la predicción, es, en este caso, el mayor valor regional de la precipitación en las próximas 24 horas. En primer lugar, se debe *categorizar* el predictando. En nuestro caso hemos distinguido las siguientes categorías,

- 0 hasta 5 mm
- 1 de 5 a 10 mm
- 2 de 10 a 30 mm
- 3 de 30 a 50 mm
- 4 más de 50 mm

Un predictando categorizado permite una predicción en forma de *vector*. En nuestro caso,

$$(p(0), p(1), p(2), p(3), p(4)),$$

dónde $p(i)$ indica la probabilidad de que el predictando se sitúe en la categoría i . Por supuesto, si las categorías se han definido excluyentes y cubriendo todas las posibilidades,

$$\sum p(i) = 1$$

Cabe que la predicción sea categórica o probabilística. En el primer caso vamos a afirmar que el predictando estará situado en una categoría concreta con toda probabilidad y no en ninguna otra. Es decir, todos los valores $p(i)$ valen 0, excepto uno, que vale 1. En el segundo caso, predicción probabilística, lo que damos es la distribución de probabilidades de las categorías del predictando, es decir, el conjunto de los valores $p(i)$, en general distintos de 0 y siempre menores que 1.

Evidentemente, establecer por métodos no cuantitativos una serie de valores concretos $p(i)$ no es viable o, por lo menos, no es práctico. Mucho más fácil es elegir un conjunto de entre varios preseleccionados. Esa preselección, esa "oferta", la constituyen los niveles de alerta.

En principio los niveles de alerta fueron definidos de un modo bastante arbitrario, siendo sometidos posteriormente a una depuración. En

efecto, hemos considerado que cada una de las alertas, es decir, cada una de las distribuciones de probabilidad predefinidas, debía responder a alguna ley estadística apropiada. Por tratarse de un fenómeno de máximos meteorológicos, nos pareció que lo más lógico era que dichas distribuciones estuvieran ajustadas a una ley de tipo *Gumbel*. Lo que en realidad se ha hecho ha sido ajustar una ley de Gumbel a la primera tentativa de definición de cada alerta, de modo que ambas distribuciones de probabilidad, la tentativa o inicial y la ajustada, tuvieran las mismas media y desviación típica.

Transcribimos a continuación las distribuciones de probabilidad *acumulada* correspondientes al *límite inferior* de cada uno de los niveles de alerta definidos:

CUADRO N.º 1

Nivel de alerta		Probabilidad de superar, en algún punto, en 24 h				
		5 mm	10 mm	30 mm	50 mm	100 mm
Blanca	0	0	0	0	0	0
Verde	0	41,5	15,2	0,1	0	0
Amarilla	1	61,4	53,1	26,3	11,6	1,2
Roja	2	85,1	79,2	51,9	28,8	4,9
Roja	3	96,7	94,3	76	50,8	11,7

Los números que aparecen a la derecha de cada color o nivel de alerta son los grados de peligrosidad o riesgo con que se han comunicado las predicciones a los Servicios de Protección Civil durante el Previmet Mediterráneo 87.

En la Figura 1 pueden verse representadas las distribuciones de probabilidad indicadas en el Cuadro N.º 1.

Los valores centrales o medios de probabilidad para cada categoría de precipitación y para cada nivel de alerta son, deducidos del Cuadro N.º 1, los que se indican a continuación: en el cuadro N.º 2.

Para cada nivel de alerta, los números de este Cuadro deben tomarse como los valores del vec-

CUADRO N.º 2

Nivel de alerta		Probabilidad (%) de que la precipitación máxima regional (mm/24 h) sea de				
		0-5	5-10	10-30	30-50	> 50
Blanca	0	77	16	0	0	0
Verde	0	49	17	21	8	6
Amarilla	1	27	7	27	19	21
Roja	2	9	4	23	24	40
Roja	3	1	2	7	10	80

tor predicción $p(i)$ al que nos hemos referido más arriba.

Verificación y valoración. Balance de la campaña Previmet Mediterráneo 87 para las Baleares

Según *Daan* (1984), el método apropiado para verificar y valorar predicciones probabilísticas cuantificadas es el que procede de Brier y Epstein y que aquí vamos a exponer brevemente y a aplicar.

Tenemos la predicción probabilística de un fenómeno categorizado formulada cuantitativamente mediante un vector $p(i)$. Interesa comparar la predicción con la realidad u observación. Esta, la observación, también puede ser categorizada y expresada vectorialmente. Tendríamos un vector $o(i)$, cuyas componentes son todas 0 salvo una, que vale 1, y que corresponde a la realidad observada. Una medida objetiva de la *veri-*

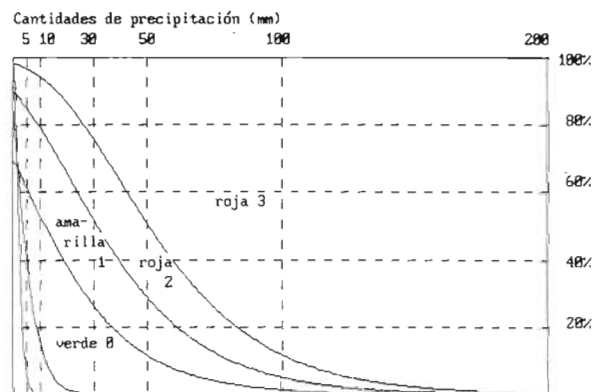


Figura 1.—Niveles de alerta, según la probabilidad de superar las cantidades de precipitación en 24 h indicadas.

ficación de la predicción $p(i)$ es la *distancia* entre dicho vector y el correspondiente vector $o(i)$, es decir,

$$v = \sum (p(i) - o(i))^2$$

Cuanto menor sea v más cercanas están observación y predicción, es decir, mejor es, en principio, la predicción. En predicciones categóricas podría pensarse en una predicción óptima, con $v = 0$, y en una predicción pésima, con $v = 2$. En predicciones probabilísticas esos valores extremos son inalcanzables, pero pueden tomarse como idea, para referencia.

Lo primero que nos interesa conocer son las medidas de verificación para las diferentes combinaciones de predicción (o alerta) realizada y realidad observada. Se tiene:

CUADRO N.º 3
VALORES DE LA VERIFICACION, EN
FUNCION DE LA PREDICCIÓN Y LA
OBSERVACION

Nivel de alerta	Observación (precipitación máxima regional en 24 h)					
	0-5	5-10	10-30	30-50	> 50	
Blanca	0	0,08	1,30	1,62	1,62	1,62
Verde	0	0,34	0,98	0,90	1,16	1,20
Amarilla	1	0,69	1,09	0,69	0,85	0,81
Roja	2	1,10	1,20	0,82	0,80	0,48
Roja	3	1,64	1,62	1,52	1,46	0,06

Según la forma en que se han construido las alertas y de acuerdo con el método de verificación, las predicciones "más exactas" son la alerta roja de grado 3 cuando han de caer más de 50 mm en algún punto y la alerta blanca, cuando la precipitación no ha de superar los 5 mm. En los demás casos las predicciones son siempre menos exactas. De todos modos, las mejor predicción, en cuanto a pura verificación, para alerta verde es la que se corresponde con precipitaciones máximas inferiores a 5 mm, en alerta amarilla, con precipitaciones máximas de 10 a 30 mm, y en alerta roja de grado 2, con precipi-

taciones máximas de más de 50 mm. Visto de otro modo, si van a caer menos de 5 mm, la mejor predicción es la alerta blanca, si van a caer de 5 a 10, la verde, de 10 a 30, la amarilla, de 30 a 50, la roja 2 (casi igualada con la amarilla), y si van a caer más de 50 mm, la mejor predicción es la roja 3 (a cierta distancia de la roja 2). Véase que no hay una relación perfectamente biunívoca, en cuanto a pura verificación objetiva, entre estados de alerta y categorías de precipitación, lo que quizá debería ser considerado como una imperfección en la definición del sistema de alertas.

Aunque la verificación (o distancia) para alerta blanca con precipitación de menos de 5 mm y alerta roja 3 con precipitación de más de 50 mm sea prácticamente la misma, muy buena, parece obvio que ambos tipos de predicción no tienen el mismo *valor*. Tiene más "mérito" predecir una lluvia fuerte y que se presente, ya que se trata de un fenómeno poco frecuente, que predecir la ausencia de lluvias de consideración, aunque se acierte, ya que este último es un fenómeno más frecuente. Esta consideración podría llevarse al extremo. En un lugar donde sólo llueve 50 días al año, por ejemplo, una predicción trivial, "no va a llover", tendría un alto porcentaje de aciertos (más del 85%), pero sería muy poco valiosa. El valor o calidad de una predicción ha de tener en cuenta una referencia, normalmente la climatología.

Las frecuencias de las distintas categorías del predictando deducidas de la climatología forman un vector, $c(i)$, que puede considerarse como predicción de referencia. Teniéndola en cuenta, los estudiosos del tema proponen la siguiente expresión como medida del valor de una predicción del tipo de las que estamos considerando,

$$i = \frac{\sum [(p(i) - o(i))^2 - (c(t) - o(t))^2]}{1 - \sum (c(i))^2}$$

Una climatología de largo período para la magnitud en cuestión, la máxima lluvia regional en 24 horas, no ha sido elaborada, aunque probablemente sería la mejor referencia. Como alternativa más viable, hemos considerado una cli-

matología restringida a fin de valorar la campaña Previmet Mediterráneo 87 para las Baleares, esto es, la climatología de la propia campaña, es decir, la distribución de frecuencias observadas de las distintas categorías de máxima precipitación regional en 24 horas en el período comprendido entre el 15 de septiembre y el 15 de noviembre de 1987. Para ello se ha partido de las medidas diarias de las aproximadamente ciento setenta Estaciones Pluviométricas controladas por el Centro de Baleares.

La base puramente observacional, para la climatología, es demasiado corta como para dar una distribución regular, suave, de frecuencias. Por ello, en lugar de usar directamente los datos de observación, hemos preferido suavizar esa distribución directa, por medio del ajuste de una ley de Gumbel.

Los resultados, directo y suavizado, son los siguientes:

CUADRO N.º 4

a) Número de días con precipitación máxima regional en 24 h entre (Período Previmet Mediterráneo 87, 15-IX/15-XI, Baleares)						
	0-5	5-10	10-30	30-50	>50	Total
N.º de días	34	3	12	5	8	62
b) Frecuencias suavizadas (Gumbel) correspondientes						
	0-5	5-10	10-30	30-50	>50	Total
%	34	7	26	16	17	100

Una tabla análoga al Cuadro N.º 3 para índices de valor será: el cuadro N.º 5.

Un “valor” negativo indica que la predicción correspondiente, en relación a la observación, es de menor calidad que la “predicción climatológica”, es decir, es una predicción perjudicial. El valor cero corresponde a la predicción sin valor, irrelevante: sería lo mismo estar sólo pendiente de la climatología. Los valores positivos, en cambio, corresponden a combinaciones predicción-observación de mejor calidad que la predicción

CUADRO N.º 5
VALORES DEL INDICE DE VALOR, EN FUNCION DE LA PREDICCIÓN Y LA OBSERVACION

Nivel de alerta	Observación (precipitación máxima regional en 24 h)					
	0-5	5-10	10-30	30-50	>50	
Blanca	0	1,15	-0,47	-2,12	-1,65	-1,70
Verde	0	0,52	0,27	-0,43	-0,57	-0,71
Amarilla	1	-0,30	0,02	0,08	0,17	0,22
Roja	2	-1,27	-0,24	-0,23	0,29	1,00
Roja	3	-2,54	-1,22	-1,88	-1,26	2,01

climatológica, es decir, son predicciones valiosas. Como era de suponer, la predicción más valiosa es la alerta roja 3 cuando van a caer más de 50 mm. La alerta blanca correspondiéndose con ausencia de lluvia o con lluvia débil es sin duda valiosa, aunque no tanto. Todas las demás predicciones tienen menos valor y vuelve a haber una cierta ambigüedad o falta de correspondencia biunívoca entre predicción y observación. Probablemente éste es un hecho que debería ser solventado en mejoras ulteriores del sistema de alertas, ya que supone un enmascaramiento para el más rápido y directo de todos los métodos de verificación de la predicción que existen, la *tabla de contingencia*. En general suele ser aplicable que en una tabla de contingencia la diagonal represente los aciertos plenos, cuando de predicción hablamos, por ello presupone la diagonalidad, la relación biunívoca que estamos echando en falta.

Ello no obstante, y teniendo presente que no debe hacerse una interpretación directa clásica, hemos construido la tabla de contingencia predicción (alerta) - observación (categorías) para el Previmet Mediterráneo 87 en Baleares, de todos modos necesaria para cualquier verificación y valoración objetiva como las que perseguimos. Para construir la tabla de contingencia, y teniendo en cuenta que la alerta es, en principio, modificable cada tres horas, mientras la observación sólo está disponible cada veinticuatro horas, hemos necesitado de un manejo previo: hemos considerado que el día, como unidad de tiempo, es el pluviométrico, empezado y acabado a las ocho

horas de tiempo local, y que la alerta que rige para dicho día es un tipo suavizado, ponderado, de promedio de las alertas vigentes en las veinticuatro horas que engloban dicho momento inicial del día, con máximo peso a esa misma hora. Después de esta algo laboriosa manipulación de los datos, la tabla de contingencia que nos resulta es la siguiente:

CUADRO N.º 6
TABLA DE CONTINGENCIA
PREDICCIÓN-OBSERVACION
PREVIMET MEDITERRANEO 87,
BALEARES

Nivel de alerta		Observación (precipitación máxima regional en 24 h)					Total
		0-5	5-10	10-30	30-50	>50	
Blanca	0	22	0	2	0	0	24
Verde	0	9	2	5	0	3	19
Amarilla	1	3	1	5	2	2	13
Roja	2	0	0	0	3	3	9
Roja	3	0	0	0	0	0	0
Total		34	3	12	5	8	62

Multiplicando cada casilla del Cuadro N.º 3 por la correspondiente del Cuadro N.º 6 y haciendo la suma total, tendremos un valor *global*, objetivo de la verificación. Análogamente, de los Cuadros N.º 5 y 6 deduciremos la *valoración global*, el *resultado objetivo final de la campaña*.

Resulta,

$$\text{verificación global} = 31.9$$

$$\text{valoración global} = 26.1$$

En definitiva, la campaña Previmet Mediterráneo 87 en Baleares, a pesar de sus fallos evidentes, debe ser considerada positiva objetivamente hablando. Una campaña óptima, usando las alertas tal como se han definido, no podría haber rebajado una verificación global de 18 (si las alertas hubieran sido las óptimas para cada observación correspondiente), y no hubiera podido superar un valor global de 58. Véase que la ausencia de campaña correspondería a una de valor nulo.

El relativo éxito constatado lo es desde un punto de vista puramente meteorológico. ¿Se puede decir lo mismo a nivel práctico? La respuesta pasa por la consideración de cuestiones que el meteorólogo no puede resolver solo, esto es, ¿debe indicarse el máximo riesgo para Protección Civil cuando se considera razonable suponer que van a caer más de 50 mm en algún punto de la región o debería elevarse ese techo a los 100, 150 ó 200 mm? Si la opción deseable fuera la segunda —otros deben decidirlo— ello implicaría una categorización distinta del predicando y una formulación de las alertas en consecuencia. Nada habría que objetar desde el punto de vista meteorológico.

Campaña "rissagues" 87

Como queda apuntado más arriba, hemos hecho, también, una valoración objetiva de la campaña 87 del servicio experimental de predicción de "rissagues" del Centro Meteorológico de Baleares para el puerto de Ciutadella de Menorca. En este caso el predicando ha sido dividido en cuatro categorías,
ausencia de "rissaga" o "rissaga" de amplitud máxima < 10 cm
"rissaga" de amplitud máxima entre 10 y 50 cm (débil)
"rissaga" de amplitud máxima entre 50 y 150 cm (moderada)
"rissaga" de amplitud máxima superior a 150 cm (fuerte)

Las "rissagues" fuertes revisten peligro para las embarcaciones y bienes situados en el puerto. Las moderadas pueden suponer, también, algún nivel de riesgo, aunque menor.

Los "vectores-predicción" que se han considerado son los siguientes,

Alerta	p(i)			
Blanca	0,95	0,05	0	0
Verde	0,8	0,1	0,1	0
Amarilla	0,5	0,2	0,2	0,1
Roja	0,2	0,2	0,3	0,3

No vamos a reproducir aquí las tablas de medida de verificación y valor para cada una de las opciones predicción-observación, aunque, por supuesto, han sido calculadas y utilizadas. La tabla de valor lógicamente ha tenido en cuenta una climatología, en este caso la distribución de frecuencias de las categorías de "rissaga" a lo largo, no de una, sino de las tres campañas —veraniegas— de las que se dispone de observaciones, 1985-86-87. La climatología es como sigue:

	Frecuencia de las "Rissagues"			
	Nula 0-10	Débil 10-50	Moderada 50-150	Fuerte >150
%	92,4	5,1	2,3	0,3

Para la campaña de 1987 la tabla de contingencia resulta ser la siguiente:

Nivel de alerta	Rissaga			
	Ausencia	Débil	Moderada	Fuerte
Blanca	98	1	0	0
Verde	15	1	0	0
Amarilla	8	1	2	0
Roja	0	0	3	0

Hechos los cálculos, resultan las siguientes medidas globales para la verificación y la valoración,

$$\text{verificación global} = 12.2$$

$$\text{valoración global} = 1.33$$

Los correspondientes valores para una hipotética campaña óptima son 5.4 y 2.64, respectivamente. Se puede concluir que el nivel de éxito

de la campaña de "rissagues" 87 es semejante al de la campaña Previmet Mediterráneo 87 en Baleares. Ambos muy aceptables, aunque mejorables. En ambos casos estamos a media distancia entre el techo óptimo y la inexistencia del servicio.

Conclusiones

El sistema de alertas meteorológicas, aparte de su utilidad como metodología para el trabajo, resulta adecuado para una fácil formulación cuantitativa de las predicciones probabilísticas de fenómenos significativos. Dicha formulación cuantitativa permite una cómoda verificación objetiva de tal tipo de predicciones.

Las campañas Previmet Mediterráneo 87 y "rissagues" 87 en Baleares han dado un resultado objetivo aceptable, a mitad de camino entre la inexistencia del servicio y el óptimo alcanzable.

A efectos prácticos, el sistema de alertas puede ser revisado, en cuanto a su categorización de los correspondientes predictandos, a fin de que su utilidad para el usuario real o potencial sea máxima.

Bibliografía

- BRIER, G. W., and ALLEN, R. A. (1951): "Verification of weather forecasts", *Compendium of Meteorology* (T. S. Malone, Editor), Boston, Massachusetts, American Meteorological Society, pp. 841-848.
- DAAN, H. (1984): *Scoring Rules in Forecasts Verification*, WMO Short - and Medium-Range Weather Prediction Research Publication Series N.º 4.